

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



**GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK
XXVII. SZEMINÁRIUMA**

2011/9-10.

II. Kötet

88 oldal
LXII. évfolyam

Géptervezők és Termékfejlesztők XXVII. Szemináriuma

Gépipari Tudományos Egyesület Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Géptervező Szakosztálya

MTA Miskolci Akadémiai Bizottsága

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék

MTA Miskolci Akadémiai Bizottságának Székháza (Miskolc, Erzsébet tér 3.)

2011. november 10. (csütörtök) – 11. (péntek)

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK

XXVII. SZEMINÁRIUMA

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék

H-3515 Miskolc-Egyetemváros

Telefon/fax: (0036)-46-327 643

e-mail: machpj@uni-miskolc.hu

A SZEMINÁRIUM SZERVEZŐI

Dr. KAMONDI LÁSZLÓ tanszékvezető egyetemi docens

Dr. habil. DÖBRÖCZÖNI ÁDÁM egyetemi tanár

Dr. PÉTER JÓZSEF egyetemi docens, a szeminárium titkára

Dr. SIPOSS ISTVÁN egyetemi docens

NÉMETH GÉZA egyetemi adjunktus

GERE ARANKA gazdasági ügyintéző

PETRÓNÉ TÓTH ILDIKÓ igazgatói ügyintéző

KORÁBBI RENDEZVÉNYEINK

Vezető konstruktőrök tanácskozása
Miskolc, 1973. augusztus 23-24.

Vezető konstruktőrök tanácskozása
Miskolc, 1975. július 23-24.

Géptervezők III. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1977. aug. 30-szeptember 1.

Géptervezők IV. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1980. augusztus 26-27.

Géptervezők V. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1982. augusztus 25-26.

Géptervezők VI. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1985. április 11-12.

Géptervezők VII. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1989. május 29-31.

Géptervezők VIII. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1991. május 29-30.

Géptervezők IX. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1993. szeptember 30 – október 1.

Géptervezés '94 (Géptervezők X. Országos Szemináriuma)
Miskolc 1994. május 20.

Géptervezők XI. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1995. május 29-30.

Géptervezés-termékfejlesztés '96 (Géptervezők és Termékfejlesztők XII. Országos Szemináriuma) Miskolc, 1996. május 24-25.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIII. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1997. november 28.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIV. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1998. december 15.

Géptervezők és Termékfejlesztők XV. Országos Szemináriuma
Miskolc, 1999. szeptember 30-október 1.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVI. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2000. november 15-16.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVII. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2001. november 8-9.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVIII. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2002. november 7-8.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2003. november 7-8.

Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2004. november 11-12.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXI. Országos Szemináriuma
Miskolc, 2005. november 10-11.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXII. Országos Szemináriuma
2006. november 9-10.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXIII. Országos Szemináriuma
2007. november 15-16.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXIV. Országos Szemináriuma
2008. november 6-7.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXV. Országos Szemináriuma
2009. november 5-6.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXVI. Szemináriuma
2010. november 10-11.

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXVII. SZEMINÁRIUMA

Miskolc, 2011. november 10-11.

PLENÁRIS ÜLÉS. I. emelet, Nagyterem

2011. november 10. (csütörtök), délelőtt

Elnök: Dr. Kamondi László tanszékvezető egyetemi docens, PhD.

- 10.00-10.05 Dr. Kamondi László tanszékvezető egyetemi docens, PhD., Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Megnyitó
- 10.05-10.30 Dr. Goda Tibor egyetemi docens, PhD., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: A diszkrét elem módszer mérnöki alkalmazásáról
- 10.30-10.55 Dr. Jármái Károly egyetemi tanár DSc., Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, Oláh Róbert okl. gépészmérnök, tudományos munkatárs, ADMATIS Kft.: Hegesztett szerkezetek analízise és optimalítása hőfáradási szempont figyelembevételével

- 10.55-11.20 Dr. habil. Döbröczöni Ádám egyetemi tanár, CsC., Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Dr. Magyar József egyetemi tanár szakmai és közéleti tevékenysége miskolci szemmel
- 11.20-11.45 Dr. habil. Kundrák János tanszékvezető egyetemi tanár, DSc., Dr. Gyáni Károly, ny. egyetemi docens, Dr. Deszpoth István, mérnök tanár, Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszék: Keményfelületek befejező megmunkálási eljárásainak összehasonlító vizsgálata az anyagválasztási teljesítmény alapján
- 11.45-12.00 Dr. Péter József egyetemi docens, CsC, Németh Géza egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Fogaskerék-hullámhajtómű laboratóriumi vizsgálata
- 12.00-14.00 Szünet

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kulcsár Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálinkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

A szerkesztésben közreműködött:

Dr. Péter József

KEDVES OLVASÓ!

A Géptervezők és Termékfejlesztők XXVII. Szemináriumára jelentkezők száma több, mint az előző években megszokott volt, a publikálni szánt cikkek tématerülete pedig egyre gazdagabb. A hagyományosnak tekintett gépszerkesztési példák mellett egyre több az egészségügyi, orvosi eszközökkel, termékekkel foglalkozó cikk, szélesedik a beszállítói ipar termék-palettája is. Mindezek arra engednek következtetni, hogy a gépészmérnökök feladatai – karöltve a villamosmérnökökkel, informatikusokkal, anyagtudósokkal, orvosokkal és biológusokkal – sokasodnak, folyamatosan megújulnak, megtalálják az utat az autópárházhoz és a közlekedéshez, csakúgy, mint a mezőgazdaság, a környezetvédelem, az energiatermelés kisebb-nagyobb termelő és felhasználó egységeihez.

Ez azt is jelenti, hogy a mérnökök elhelyezkedése könnyebb és sikeresebb, ugyanakkor a munkavállalás, a mérnöki munka értékének elismertetése, nem ritkán a pénzügyi érték behajtása új feladatokat jelent. A gyorsan változó gazdasági és jogi-pénzügyi szabályozási környezet a vállalkozó mérnökök új, erőszakosabb piaci magatartását követeli meg.

Ezzel párhuzamosan a műszaki felsőoktatásban is javulnak a jelentkezők magukkal hozott ismeretei és nagyobb követelmények támaszthatók. Sokasodnak a mester szakokon tanulók és ha nagyon lassan is, de szaporodnak a doktori képzésben résztvevő mérnökök is, függetlenül attól, hogy a nyelveket beszélő, tehetséges mérnökpalántákra mind itthon, mind külföldön is „vadásznak”.

A mérnökképző egyetemeken a generációváltás lassan a végéhez ér, már felnőtt az a fiatal-középkorú oktatógárda, akik rövidesen átveszik a „megharcolt” elődök feladatait. Ugyanakkor ez elődökre mindig tisztelettel tekintünk, mint akik a nem kevésbé változatos XX. század második felében mindannyiunkat tanítottak, akár egyetemi oktatóként, akár praktizáló mérnökként.

A nagy elődök egyike a nemrég elhunyt Dr. Magyar József tanszékvezető egyetemi tanár, akinek érdemeiről most, a Szemináriumon is megemlékezünk. 2012 januárjában pedig kiállítást szervezünk a tíz éve eltávozott Dr. Terplán Zénó professzor emlékére.

Mert professzoraink, oktatóink, a magyar műszaki egyetemeken aranyoklevelet szerzett mérnökeink emlékének megőrzése külön erőt adhat az utódok seregének.

Dr. Döbröczöni Ádám

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Telefon/fax: +36-46/379-530, +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 202-0656, fax: 202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Tel.: (46) 379-530, e-mail: gazdasz@chello.hu.

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 303-3440. További információ: 06 80/444-444

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343

ISSN 0016-8572

TARTALOM

20. Kaczur J.; Poós T.; Legeza L.; Örvös M.: Togias biomassa szárító	3	32. Szente J.; Kelemen L.: Domborított fogazat matematikai modellezése fogasgyűrűs tengelykapcsolókhöz	47
21. Kröell-Dulay I.; Kovács B.; Nagy L.: Gáztöltésű hidraulikus akkumulátorok optimális kiválasztása a kiürítési idő figyelembevételével.....	5	33. Virág Z.; Jármái K.: Lemezborítás lemezfáradás vizsgálata és optimalása	51
22. Orbán F.: Harangtorony mechanikai vizsgálata	9	34. Békési N.; Váradi K.; Czifra Á.: Vasúti féktuskó kopási viselkedése I. rész: Numerikus szimuláció	55
23. Pere B.; Terdikné Szüle V.; Porkoláb L.; Stifter J.: Versenyautó keréktárcsa végeelemes szilárdságtani analízise.....	11	35. Békési N.; Váradi K.; Czifra Á.: Vasúti féktuskó kopási viselkedése II. rész: Mikrotopográfiai analízis.....	59
24. P. Filípek; Gy. Bukoveczky: Új elrendezésű teleszkópos kotrógép tervezése.....	17	36. Dömötör Cs.: Hangszerek a természetben.....	63
25. Sarka Ferenc; Döbröczeni Ádám: Alacsony zajkibocsátású gépek tervezésének irányelvei.....	20	37. Földesi B.; Rádics J. P.; Tamás K.; Jóri J. I.: Növényolajprés konstrukciós folyamatának alátámasztása a hőtani folyamatok dem analizisével.....	67
26. Simonovics J.; Váradi K.; Bujtár P.: Biomechanikai csontmodell építésének lehetőségei 24		38. Hegedűs Gy.; Takács Gy.; Patkó Gy.: Szerszám-befogó-munkadarab ütközésvizsgálata golyósanya köszörülésekor	72
27. Szabó F. J.: Analógia a sport- világcúcsok története és az evolúciós optimáló algoritmusok iteráció-története között.....	28	39. Dr. Hegedűs J.: A következő években (a digitális-gazdaságban) alkalmazható terméktervezési módszerek áttekintése.....	76
28. Szabó O.: Nem körkeresztmetszetű furatok pneumatikus mérésének tervezése.....	32	40. Szabó G.: A forgácsleválasztás jellegzetességeinek vizsgálata keménysztergálás esetén	80
29. Szabó T.; Szilágyi A.; Takács Gy.; Lajos G.: Golyós orsók élettartam becslése	35	41. Dr. Szabó O.: Nem körkeresztmetszetű furatok pneumatikus mérésének tervezése.....	84
30. Szalai J.; Fodor L.: A hibrid járművek felépítésének technológiai kérdései	39		
31. Szente J.; Kelemen L.: Belső fogazatú fogaskerekek tervezése fogasgyűrűs tengelykapcsolókhöz	42		

LEMEZBORDÁS LEMEZ FÁRADÁS VIZSGÁLATA ÉS OPTIMÁLÁSA

FATIGUE DESIGN AND OPTIMIZATION OF FLAT STIFFENED PLATES

Virág Zoltán PhD, Jármai Károly DSc
Miskolci Egyetem

ABSTRACT

In this overview of compressed stiffened plates various fatigue designs and welding types are investigated. The unknowns are the thickness of the base plate as well as the dimensions and number of stiffeners. The cost function to be minimized are three kinds of fabrication costs.

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben több olyan dolog megváltozott, mely a hegesztett szerkezetek kialakítására nagy hatással van. Új anyagok és új hegesztési technológiák jelennek meg, illetve terjednek el. Ezért fontos a szerkezetek költség optimalizálása a különböző lehetőségekre [1,2]. A tervezési előírások jelentősen finomodtak. Különösen igaz ez a dinamikus igénybevételre, a fáradásra. A különféle kutató intézetekben, egyetemeken, ipari laboratóriumokban nagyszámú fázasztó kísérletet végezve pontosabban megközelítették a szerkezet viselkedését. Javultak a fázasztó berendezések is, nagyobb ciklusszámú vizsgálatot téve lehetővé.

2. HEGESZTETT KÖTÉSEK FÁRADÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

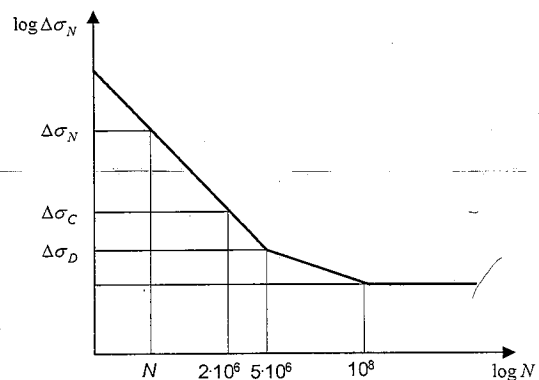
A varratméretezésnél a több tényezőt fontos figyelembe venni. Az alkalmazott alapanyag leggyakrabban acél; a hegesztési technológia, ahol a legelterjedtebb az aktív védőgázos fogyóelektródás hegesztés, de a bevontelektródás kézi ívhegesztés, illetve a fedettívű (és több más) hegesztés is használatos; a hegesztési maradó feszültségek, melyek a bevitt hőtől, a szerkezet és a varrat méreteitől függenek; a kötés típusa, amely a méretezésnél a fáradási kategóriát megadja; a varrat geometria, amely még javítható hegesztési utókezeléssel; figyelembe kell venni a hegesztési hibákat; a feszültség-tartomány a fáradási élettartamot legjobban befolyásoló tényező; a ciklusszám szintén domináló tényező. A jelenlegi fáradási viselkedési leírások szerint csak $N = 10^8$, vagy 10^9 ciklusszám után lehet a $\Delta\sigma - N$ görbénél a fáradási értéket változatlanul tekinteni; a feszültség-

állapot, az esetek nagy részében nemcsak normál-feszültség, de nyírófeszültség is adódik.

A fáradási viselkedés jelentősen változik, illetve változhat ezen tényezők változásával.

3. FÁRADÁSI TERVEZÉSI ELŐÍRÁSOK AZ EUROCODE 3 ALAPJÁN

Az Eurocode 3 [3] szabvány, továbbiakban EC3, a hegesztett kötések osztályba sorolja. Az osztály száma $\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$ jelenti a fáradási feszültség-tartomány MPa-ban $N = 2 \cdot 10^6$ ciklus esetén. N ciklusszám esetén a fáradási feszültség-tartomány értékei $\Delta\sigma_N, \Delta\tau_N$ grafikusan vannak megadva (egyenes vonalak a log-log koordináta rendszerben, 1. ábra). A szabvány megfelelő ábráján párhuzamos vonalak jelölik 36-160 MPa-ig a különböző osztályokat.



1. ábra. Normál-feszültség fáradási határértékek a ciklusszám függvényében

Az 1. ábra csak egy vonalat ad meg, de a számítás bármely ide tartozó osztálynál ugyanúgy történik. Ennek megfelelően $\Delta\sigma_N, \Delta\tau_N$ értékei lineáris interpolációval meghatározhatók (1) és (2) képletek szerint, ha ismerjük a $\Delta\sigma_C$ -t, m és N értékét. Az N ciklusszám 10^5 és végtelen között változhat.

Normál-feszültség fáradási határértékek ciklusszám függők.

Ha $N \leq 5 \cdot 10^6$, akkor

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{2 \cdot 10^6}{N} + \log \Delta \sigma_C \quad (1)$$

ahol m a görbe meredeksége állandó, $m = 3$, $\Delta \sigma_C$ a fáradási feszültség-tartomány $N=2 \cdot 10^6$ ciklusszám esetén, ez megegyezik a kötés csoportba sorolási számával (36-160 MPa közötti).

Ha $5 \cdot 10^6 \leq N \leq 10^8$, akkor

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{5 \cdot 10^6}{N} + \log \Delta \sigma_D \quad (2)$$

ahol a görbe meredeksége kisebb, $m = 5$, $\Delta \sigma_D$ a fáradási feszültség-tartomány $N=5 \cdot 10^6$ ciklusszám esetén (meghatározható $\Delta \sigma_C$ értékéből). Az EC3 szabvány interakciós formulája összetett igénybevétel esetén, ahol $\Delta \sigma$, $\Delta \tau$ a normál és a nyírófeszültség tervezési értékei, $\Delta \sigma_N$, $\Delta \tau_N$ a fáradási feszültség-amplitudók, γ_{Ff} és γ_{Mf} részbiztonsági tényezők a fáradási terhekhez és a fáradási szilárdságokhoz.

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma}{\Delta \sigma_N / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau}{\Delta \tau_N / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1 \quad (3)$$

Az ENV 1991 Eurocode 1-ben található fázasztóterhek már tartalmazzák a γ_{Ff} biztonsági tényező megfelelő értékét. γ_{Ff} értékét általában 1-nek veszik.

A fáradási feszültség-amplitúdóra a részbiztonsági tényező γ_{Mf} értéke a 1. táblázatban kerül megadásra.

„Törésbiztos elem” az, melynek lokális tönkremenetele nem eredményezi a teljes szerkezet tönkremenetelét. „Nem törésbiztos elem” az, melynek tönkremenetele a teljes szerkezet tönkremenetelét okozza (1. táblázat). A számítási példában 1.25-ös értékkel számolunk.

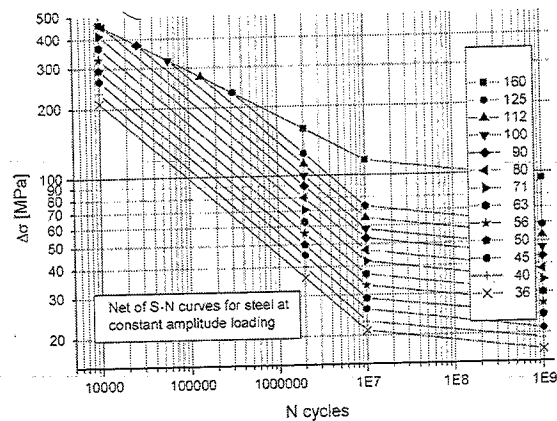
1. táblázat. A részbiztonsági tényező γ_{Mf} értéke az EC3 szabvány szerint

	törésbiztos elem	nem törésbiztos elem
megközelíthető kapcsolat	1.00	1.25
nehezen elérhető kapcsolat	1.15	1.35

4. FÁRADÁSI TERVEZÉSI ELŐÍRÁSOK A NEMZETKÖZI HEGESZTÉSI INTÉZET AJÁNLÁSA ALAPJÁN

A Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding) ajánlást dolgozott ki hegesztett kapcsolatok fáradásának meghatározására [4]. Az ajánlás előnye,

hogy felhasznál újabb kutatási eredményeket. 960 MPa folyáshatárig érvényes az Eurocode 690 MPa folyáshatárhoz képest. A fáradási határokat nemcsak acélra, hanem alumíniumra is megadja. A fáradási határ 10^6 ciklusszám fölött válik állandóvá normál (2. ábra).



2. ábra. IIW ajánlás fáradási görbék normál feszültségre

Ha $N \leq 10^7$, akkor

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{2 \cdot 10^6}{N} + \log \Delta \sigma_C \quad (4)$$

ahol m a görbe meredeksége állandó, $m = 3$, $\Delta \sigma_C$ a fáradási feszültség-tartomány $N=2 \cdot 10^6$ ciklusszám esetén, ez megegyezik a kötés csoportba sorolási számával (36-160 MPa közötti).

Ha $10^7 \leq N$, akkor

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{10^7}{N} + \log \Delta \sigma_D \quad (5)$$

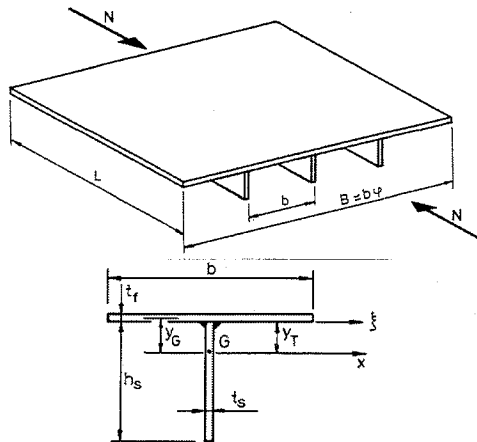
ahol a görbe meredeksége kisebb, $m = 5$, $\Delta \sigma_D$ a fáradási feszültség-tartomány $N=10^7$ ciklusszám esetén (meghatározható $\Delta \sigma_C$ értékéből).

4. SZÁMPÉLDA LEMEBORDÁS LEMEZ FÁRADÁSI VIZSGÁLATÁRA

Megadott adatok: $B = 6000$ mm, $L = 4000$ mm, $N = 1.2 \cdot 10^7$ [N], $f_y = 235$ MPa, $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa, $G = E/2.6$, $\rho = 7.85 \cdot 10^{-6}$ kg/mm³, $\Theta_d = 3$. A számított fáradási ciklusszámok: 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 . A vastagságokra felső határokat adtunk meg, a fedőlemez vastagságra (t_f) 40 mm, a borda vastagságra (t_s) 30 mm. A bordaközök száma (φ) maximum 30 lehet. A változók: φ , t_f , t_s . (4. ábra)

Vizsgálatok három hegesztési eljárásra lettek elvégezve: kézi hegesztés (SMAW), kevert védőgázos félautomati-

kus hegesztés (GMAW-M) és poralatti automatikus hegesztés (SAW).



4. ábra. A hosszirányban terhelt bordás lemez és a lemezborða geometriája

A fáradási feltétel az EC3 szabvány és IIW ajánlás alapján lett számítva. A különböző hegesztési eljárások különböző fáradási hegesztési tartományba sorolhatók a 2. táblázat adatai szerint. A méretezés további feltételei a teljes bordázott lemez horpadása, a fedőlemez horpadása és a bordák elcsavarodó kihajlása Mikami módszerével [5] korábbi tanulmányokban már részletezve lettek.

2. táblázat. Hegesztési eljárások besorolása

Hegesztési módszer	EC3	IIW
	$\Delta\sigma_c$ [MPa]	$\Delta\sigma_c$ [MPa]
SMAW	100	90
GMAW-CO ₂	112	100
SAW	125	125

Ez a célfüggvény az anyagfüggvény és az előállítási költség összegeként számolható

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum T_i \quad (6)$$

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3) \quad [kg] \quad (7)$$

ahol ρ az alapanyag sűrűség, V a szerkezet térfogata, K_m és K_f valamint k_m és k_f anyag és előállítási költségek és tényezők, T_i előállítási idők a következők szerint:
- összeszerelési és összefűzési idő

$$T_1 = \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V} \quad (8)$$

ahol Θ_d a hegesztett szerkezet bonyolultsági tényezője, κ a szerkezet összeszerelendő részeinek száma;
- T_2 hegesztési idő, és T_3 a járulékos idők, mint például elektróda csere. $T_3 \approx 0.3T_2$

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum C_{2i} a_{wi}^n L_{wi} \quad (9)$$

ahol L_{wi} a varrathossz, $C_{2i} a_{wi}^n$ értéke a COSTCOMP [6] software által rajzolt függvényből kapható meg hegesztési eljárásokra, a_w a varratméret (3. táblázat).

3. táblázat. Hegesztési idők a varrat méret a_w [mm] függvényében hosszirányú sarokvarratra

Hegesztési módszer	a_w [mm]	$10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	0-15	$0.7889 a_w^2$
GMAW-CO ₂	0-15	$0.3258 a_w^2$
SAW	0-15	$0.2349 a_w^2$

5. EREDMÉNYEK

Az eredmények három technológiára kerültek meghatározásra, fáradás nélkül, valamint 10^5 - 10^8 ciklusszám esetén, a EC3 szabvány szerint és az IIW ajánlása alapján számított értékek (4-6. táblázatok).

4. táblázat. Eredmények SMAW-ra

SMAW	k_f/k_m	t_f	t_s	φ	K/k_m
Fáradás nélkül	0	5	10	29	2172
	1	17	14	5	5555
	2	17	14	5	7562
EC3 10^5	0	5	10	29	2172
	1	17	14	5	5555
	2	17	14	5	7562
EC3 10^6	0	11	16	24	4660
	1	24	14	4	6400
	2	24	14	4	8021
EC3 10^7	0	26	15	26	7371
	1	39	11	4	8771
	2	39	11	4	10036
EC3 10^8	0	31	23	26	11654
	1	40	28	13	32137
	2	40	28	13	52603
IIW 10^5	0	5	10	29	2172
	1	17	14	5	5555
	2	17	14	5	7562
IIW 10^6	0	10	19	16	4264
	1	21	14	4	5810
	2	21	14	4	7406
IIW 10^7	0	10	24	29	8973
	1	40	29	5	16551
	2	40	29	5	24088

SMAW	k_f/k_m	t_f	t_s	φ	K/k_m
IIW 10^8	0	40	29	19	14190
	1	40	29	19	46798
	2	40	30	18	80066

5. táblázat. Eredmények GMAW-ra

GMAW	k_f/k_m	t_f	t_s	φ	K/k_m
Fáradás nélkül	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	4227
	2	15	13	6	5460
EC3 10^5	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	4227
	2	15	13	6	5460
EC3 10^6	0	16	16	11	4139
	1	21	14	4	5102
	2	21	14	4	5990
EC3 10^7	0	6	21	29	6558
	1	34	12	4	7449
	2	34	12	4	8301
EC3 10^8	0	40	21	16	10443
	1	40	29	9	17114
	2	40	29	9	23735
IIW 10^5	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	4227
	2	15	13	6	5460
IIW 10^6	0	18	13	6	3762
	1	19	14	4	4707
	2	19	14	4	5577
IIW 10^7	0	7	23	30	8063
	1	40	20	4	9618
	2	40	20	4	11174
IIW 10^8	0	17	28	29	12852
	1	40	24	22	24694
	2	39	30	15	36870

6. táblázat. Eredmények SAW-ra

SAW	k_f/k_m	t_f	t_s	φ	K/k_m
Fáradás nélkül	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	3921
	2	15	13	6	5060
EC3 10^5	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	3921
	2	15	13	6	5060
EC3 10^6	0	15	9	28	3787
	1	19	14	4	4568
	2	19	14	4	5299
EC3 10^7	0	30	13	4	5874
	1	30	13	4	6644
	2	30	13	4	7413
EC3 10^8	0	40	17	15	9314
	1	40	26	7	12562
	2	40	26	7	15805
IIW 10^5	0	5	10	29	2172
	1	11	12	10	3921
	2	15	13	6	5060
IIW 10^6	0	8	11	29	2996
	1	15	13	6	4129
	2	15	13	6	5060

SAW	k_f/k_m	t_f	t_s	φ	K/k_m
IIW 10^7	0	6	22	26	6449
	1	34	12	4	7346
	2	34	12	4	8097
IIW 10^8	0	39	27	10	10231
	1	40	30	8	15014
	2	40	30	8	19723

Az eredmények azt mutatják, milyen nagy a hatása a fáradási ciklusszámnak az eredményekre. A lemezméreték és a bordaszám is jelentősen növekednek, ahogy megy felfelé a ciklusszám. A fáradási feltétel 10^6 ciklusszám esetén már aktív lesz. A tömegminimumnál nagy bordaszámra törekszik a program. A költségminimumnál csak akkor növeli nagyra a bordaszámot, amikor már nem tudja a fedőlemezt és a bordákat tovább vastagítani. Összefoglalva érdemes mind a technológiát, mind a költségeket figyelembe venni a tervezéskor és ezekre optimalni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatást az OTKA támogatta a T 75678 számú projekt keretében.

IRODALOM

- [1] Jármái, K., Iványi, M.: Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 226 o., ISBN 963 420 674 3, 2001.
- [2] Virág, Z.: Optimum design of stiffened plates, Pollock Periodica, Vol. 1, No. 1, pp. 77-92, HU ISSN 1748-1994, 2006.
- [3] Eurocode 3: MSZ ENV 1993-1-1:1992/A2:2002 Acélszerkezetek tervezése, 347 old. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2006.
- [4] Recommendations on fatigue of welded components of the IIW, Doc. IIW-1823-07, ex. XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07, 2008.
- [5] Mikami, I., Niwa, K. Ultimate compressive strength of orthogonally stiffened steel plates. J. Structural Engineering ASCE 122, No. 6. 674-682, 1996.
- [6] COSTCOMP Programm zur Berechnung der Schweisskosten. Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf, 1990.